

$$G_{пв} \cdot i_{пв} = \sum_1^n (D_n \cdot i_n) \cdot \eta, \quad (5)$$

где $G_{пв}$ и $i_{пв}$ – расход и энтальпия питательной воды соответственно, n – количество входных потоков в деаэратор, η – КПД деаэратора. Энтальпия воды на выходе принимается на 41,9 кДж/кг ниже, чем энтальпия насыщения при соответствующем давлении деаэратора. После учета всех потоков определяется расход основного конденсата и расход пара на редуционно-охладительную установку (РОУ).

После определения всех расходов пара из турбины определяется оставшийся расход на конденсатор [4].

Можно сделать вывод, что моделирование тепловых схем с набором имеющихся блоков для различных элементов схемы значительно ускоряет расчет, так как можно поэтапно отследить значение параметров, и освобождает пользователя от множества рутинных операций.

Список использованных источников

1. Revised Release on the IAPWS Industrial Formulation 1997 // The International Association for the Properties of Water and Steam. URL: <http://www.iapws.org/relguide/IF97-Rev.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).
2. Water-Steam Calculator: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / П.Ю. Худяков, А.Ю. Кисельников, Е.С. Селезнев. — №2018613649; дата регистрации 21.03.2018 г.
3. Селезнев Е.С., Худяков П.Ю. Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. // Разработка алгоритма расчета свойств воды и водяного пара по системе уравнений IAPWS-IF97 для моделирования тепловых схем ТЭС. Екатеринбург. 2017. С. 352–355.
4. Берг Б.В. Проектирование тепловых электрических станций: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2007.

УДК 621.311.23/.26

Н. А. Семенов, В. А. Микула

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

К ВОПРОСУ ОБ УТИЛИЗАЦИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ОТХОДОВ

Аннотация

Проведен поиск оптимальных вариантов регулирования производительности котлоутилизаторов металлургической, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности за счет использования отходящих газов технологических агрегатов. Рассмотрены имеющиеся схемные и конструктивные решения такие как: регулирование подачи

горячей массы, охлаждаемой в ЭТА газами, квенчинг (впрыск в поток газов воды), байпасирование потока продуктов сгорания, сжигание газа в КУ, использование промежуточного теплоносителя. Представлена принципиальная схема утилизации тепла отходящих газов (iRecovery) дуговой сталеплавильной печи и технологическая схема газотурбинной установки с двумя теплоутилизирующими низкокипящими рабочими контурами. Проведен анализ вышеизложенных схем и способов регулирования производительности котлов-утилизаторов в зависимости от параметров потока отходящих газов ЭТА, таких как расход, температура, давление, наличие частиц.

Ключевые слова: регулирование производительности, теплоноситель, отходящие газы, утилизация тепла, котел-утилизатор.

Abstract

The search was conducted for optimal options for regulating the productivity of waste heat recovery boilers in metallurgical, chemical, oil refining and other industries through the use of waste gases from technological units. The application of circuit and constructive solutions was considered such as: regulation of the supply of hot mass, cooled in ETA gases, quenching (injection into the flow of water gases), bypassing the flow of combustion products, combustion of gas in the CG, use of an intermediate coolant. The principal scheme of waste heat recovery (iRecovery) of an arc steel furnace was presented and a flow diagram of a gas turbine plant with two heat-recovery low-boiling operating circuits was presented as well. The above schemes and methods for regulating the productivity of waste heat boilers was analyzed depending on the parameters of the ETA off-gas flow, such as flow rate, temperature, pressure, particle presence.

Key words: capacity regulation, coolant, waste gases, heat recovery, waste heat boiler.

Производство пара котлами-утилизаторами (КУ) за счет использования отходящих газов технологических агрегатов (в основном, печей различного назначения) является распространенной технологией на предприятиях металлургической, химической, нефтеперерабатывающей и других отраслей промышленности.

Однако поскольку котлы-утилизаторы работают в широком интервале нагрузок 10–100 % от номинальной производительности (для энергетических паровых котлов диапазон регулирования заметно ниже ~50–100 %), то при проектировании КУ оптимальный уровень температуры уходящих газов (после котла) принимается для режима работы при минимальной производительности, поэтому при во всех других режимах происходит недоиспользование реального потенциала продуктов сгорания.

Возможность и эффективность использования энергии отходящих газов энерго-технологического агрегата (ЭТА) в КУ зависит от параметров потока отходящих газов ЭТА, таких как расход, температура, давление, наличие частиц (имеющих возможность образовывать отложения на внешней поверхности поверхностей нагрева КУ).

Целью данной работы является анализ имеющихся схемных и конструктивных решений позволяющих регулировать производительность КУ.

Паровые КУ обычно содержат экономайзерные, испарительные поверхности нагрева, и пароперегреватель. Как правило, воздухоподогреватель в КУ отсутствует, исключение составляют КУ, устанавливаемыми за ЭТА сжигающими горючие газы.

На рис. 1 представлена принципиальная схема утилизации тепла отходящих газов (iRecovery) дуговой сталеплавильной печи [1].

Первой ступенью утилизации теплоты (охлаждение газов до 600 °С) служит газоход отходящих газов, на его стенках расположены поверхности нагрева, в которых вода (под давлением 13–20 бар) нагревается и испаряется. Второй ступенью охлаждения газов (до 200 °С) служит трубный пучок, располагаемый в потоке газов. Полученная в обеих ступенях пароводяная смесь подается в паровой коллектор, где происходит разделение пара и воды. Происходит отбор пара, а вода направляется обратно в контур. По схеме движения воды и пара это практически классический вариант, здесь имеются экономайзерные и испарительные поверхности нагрева, а регулирование производительности осуществляется только расходом воды.

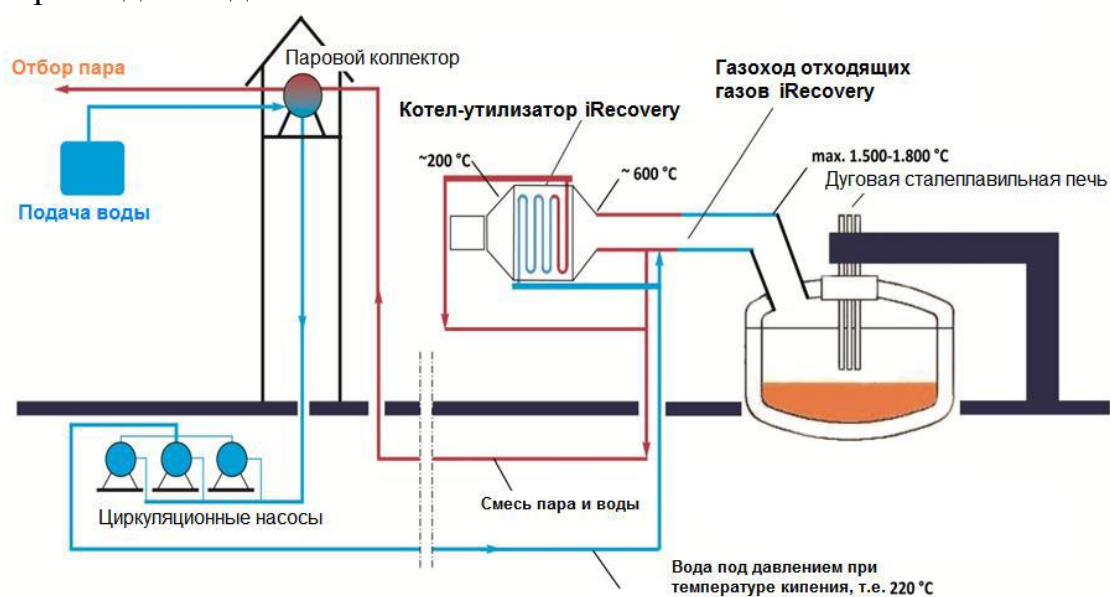


Рис. 1. Схема утилизации тепла отходящих газов дуговой сталеплавильной печи

Кроме того, для регулирования производительности КУ используют и другие средства:

1. Регулирование подачи горячей массы, охлаждаемой в ЭТА газами.
2. Квенчинг (впрыск в поток газов воды).
3. Байпасирование потока продуктов сгорания.
4. Сжигание газа в КУ.
5. Использование промежуточного теплоносителя.

1. *Регулирование подачи горячей массы*, используется в установках сухого тушения кокса УСТК [2]. Кокс подается в бункер, который выполняет роль аккумулятора горячего кокса. Бункер служит для выравнивания расхода кокса во времени, чтобы в зону собственно охлаждения поступал кокс с примерно постоянным расходом. Это позволяет отводить в КУ газ-теплоноситель с постоянной температурой и получать пар постоянных параметров, т.е. данный способ позволяет выравнивать график производства пара, но годится такой способ только для КУ, работающих только с таким типом ЭТА.

2. *Квенчинг*. В некоторых конструкциях регулирование температуры отходящих из ЭТА газов осуществляется впрыском воды, но этот способ увеличивает потери с уходящими после КУ газами, поскольку в окружающую среду сбрасывается теплота фазового перехода впрыскиваемой воды.

3. *Байпасирование потока продуктов сгорания*. Такой метод, например, используется в схеме энерготехнологического агрегата (ЭТА) для низкотемпературного обжига колчедана в кипящем слое [2].

В кипящем слое обжигаемого материала установлены испарительные поверхности нагрева. Поверхности нагрева, находящиеся в кипящем слое, работают с высоким коэффициентом теплоотдачи $\sim 230\text{--}350 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Эти поверхности объединены с КУ, использующем теплоту отходящих газов. Уходящие из КУ газы далее используются в технологических агрегатах, и температура их должна быть около 400°C .

Регулирование температуры уходящих газов в КУ достигается перепуском части газов через байпасный газоход с шибером, что позволяет поддерживать требуемую температуру уходящих из КУ газов. Однако такой способ не позволяет увеличить производство пара, если уходящие газы требуется охладить до возможного минимума.

Кроме того, дополнительными трудностями такой схемы являются:

- жесткие условия работы шибера (при температурах газов $\sim 850^\circ\text{C}$);
- сложность регулирования при низкой загрузке установки, как известно при изменении степени открытия шибера от 0 до минимального значения нелинейно увеличивается расход пропускаемой среды.

4. *Сжигание газа в КУ*. Такой способ используется в КУ сталеплавильных конверторов [2].

Котел ОКГ–100–ЗА – однобарабанный, вертикально-водотрубный, с многократной принудительной циркуляцией, имеет П-образную компоновку. Подъемный газоход (камин) состоит из наклонной и вертикальной частей. Между конвертером и камином котла поддерживается разрежение $30\text{--}40 \text{ Па}$, обеспечивающее отсос всех газов из конвертера и подсос из атмосферы воздуха, необходимого для их сжигания.

В период продувки конвертера пар вырабатывается в охладителе за счет теплоты, выделяющейся от сжигания конвертерных газов, а в межпродувочный период в КУ сжигается смесь коксового и доменного газов, т. е. охладитель работает как энергетический котел. Кроме того, для стабильной паропроизводительности КУ в продолжение всего цикла конвертерной плавки стали дополнительно используются паровые аккумуляторы.

Основным недостатком данного способа является использование дополнительных энергоресурсов (горючих газов). Если горючие газы являются вторичными энергоресурсами, как в приведенной технологии, то это не ведет к дополнительным эксплуатационным затратам, однако во всех остальных случаях требуются покупные горючие газы, что является очевидным недостатком.

5. *Использование промежуточного теплоносителя.* Например, данный способ используется в энергетической установке на базе ГТУ НК–37 с двумя теплоутилизирующими рабочими контурами рис. 2.

В работе предложено применение указанной схемы для энергетических ПГУ малой мощности. В качестве расширительных машин и приводов энергогенераторов в цикле Ренкина малой мощности могут быть использованы радиально-осевые центростремительные турбины [3].

В качестве теплоносителя и рабочего тела используются бензол (первый контур) и бутан (второй контур).

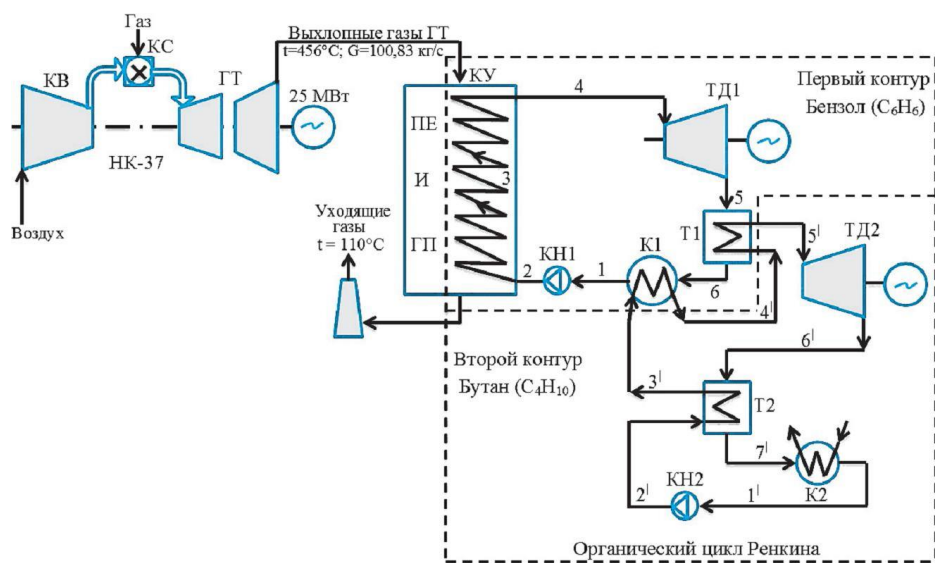


Рис. 2. Технологическая схема газотурбинной установки с двумя теплоутилизирующими низкокипящими рабочими контурами:
 КВ – компрессор воздушный; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина;
 КУ – котел утилизатор; ПЕ – перегреватель пара; И – испаритель;
 ГП – газовый подогреватель; ТД1, ТД2 – турбодетандер;
 Т1, Т2 – теплообменник – рекуператор; К1, К2 – конденсатор;
 КН1, КН2 – конденсатный насос

Отличительной особенностью органического цикла в сравнении с водяным является наличие рекуперативного теплообменника, в котором теплота перегретых паров бензола после турбины отводится на испарение бутана, необходимого для следующего рабочего цикла. За счет этого снижается нагрузка конденсатора.

Эффективность перехода на низкокипящие рабочие тела обеспечивает целый ряд преимуществ:

- отсутствие вакуума в установке;
- меньшие габариты и более высокие значения КПД турбомашин;
- возможность использования прямоточного котла, упрощающего энергетическую установку;
- отсутствие коррозии элементов установки и эрозии лопаток турбины.

Использование промежуточного теплоносителя

В КУ можно было бы вместо воды использовать другой теплоноситель с более высокой температурой кипения. Этот теплоноситель нагревался бы в КУ, а затем в другом теплообменном аппарате мог бы передавать теплоту на нагрев воды и получения пара необходимых параметров. При этом можно было в широких пределах регулировать расход такого теплоносителя через КУ, не опасаясь вскипания или полного испарения в экономайзерных пучках.

Список использованных источников

1. Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология / А.М. Беленький, А.Н. Бурсин, Н.А. Коротченко, И.В. Корочанцева // Труды VII международной научно-практической конференции. – М.: МИСИС, 2014. – 485 с.
2. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебник / А.П. Баскаков, В.А. Мунц. – М.: ООО "ИД "БАСТЕТ", 2013. – 368 с.
3. Использование вторичных энергоресурсов / О.Л. Данилов, В.А. Мунц. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008. – 154 с.

УДК 662.76

А. И. Смирнов, Т. Ф. Богатова, П. В. Осипов

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТИПА ТОПЛИВОПОДАЧИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПГУ–ВЦГ

Аннотация

В работе рассмотрены параметры, влияющие на эффективность работы газификатора, являющегося одним из основных элементов технологической схемы ПГУ–ВЦГ. Одним из факторов, определяющих экономичность данной технологии, является выбор способа подачи угля в газификатор. Рассмотрены варианты сухой топливоподачи с использованием в качестве транспортирующего газа N_2 , CO_2 и их смеси $N_2 + CO_2$, а также мокрой топливоподачи с использованием ВУС – суспензии на базе угля и воды, а также на базе угля и сжиженного CO_2 . Выявлены основные проблемы сухой и мокрой подачи топлива в газификатор. В статье приведены результаты сравнительного анализа ПГУ с внутрицикловой газификацией угля с разными способами топливоподачи.

Ключевые слова: ПГУ–ВЦГ, поточный газификатор, топливоподача, экономичность.

Abstract

The parameters influencing overall performance of the gasifier which is one of basic elements of the technological scheme of Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) are considered in paper. One of the factors defining profitability of this technology is the choice of a method of coal supply into the gasifier. Options of dry fuel feeding with use as the carrier gas N_2 , CO_2 and their mix $N_2 + CO_2$ and also wet fuel feeding about use of CWS – suspension on the basis of coal and water and also on the basis of coal and the liquefied CO_2 are considered. The main problems of dry and